

PHASE TO PHASE

BETROUWBAARHEID @ VISION

01-119 pmo

23-4-2001

INHOUD

1	Elektriciteitsvoorziening in Nederland zeer betrouwbaar	3
2	Beschrijving van het model	3
2.1	Groepen	4
2.2	Falen.....	5
2.3	Herstellen	5
3	Invoergegevens.....	7
3.1	MS Componenten	7
3.2	HS Componenten.....	8
3.3	Storingsstatistiek en Netvoeding.....	8
3.4	Herstel van de levering.....	9
4	Modellering van een net.....	11
4.1	Uitgebreide modellering van een HS-net	11
4.2	Vereenvoudigde modellering van een HS-net	13
4.3	Modellering van een MS-net.....	14
4.4	Gevoeligheid voor wijzigingen in schakelstanden.....	15
5	Resultaten	17
5.1	Onderbrekingsverwachting	18
5.2	Gemiddelde onderbrekingsduur	19
5.3	Niet-beschikbaarheidsduur	20
5.4	Verbetering betrouwbaarheid.....	21
6	Conclusie	22

1 ELEKTRICITEITSVOORZIENING IN NEDERLAND ZEER BETROUWBAAR

Uit: De Ingenieur, 15 november 2000

De elektriciteitsvoorziening in Nederland is zeer betrouwbaar. Dat blijkt uit de jaarlijkse netstoringsregistratie van de Federatie EnergieNed. Gemiddeld viel vorig jaar per aansluiting de stroom 25 minuten uit. 1999 was daarmee een modaal storingsjaar. De millenniumovergang heeft niet voor problemen gezorgd. De afgelopen kwart eeuw bedroeg de jaarlijkse stroomuitval 22 minuten per aansluiting. De afgelopen tien jaar waren er twee uitschieters: 1997 met de grote storing in het midden van Nederland en 1991 met minder dan een kwartier storing. De Nederlandse stroomvoorziening valt zo weinig uit doordat 97 % van de 260 000 kilometer aan leidingen ondergronds ligt. Stormen kunnen weinig schade aanrichten. De belangrijkste oorzaken van storingen zijn graafwerkzaamheden en veroudering van onderdelen.

Ongeveer 40 % van de Nederlandse stroom wordt opgewekt met warmtekracht. Nederland is daarmee koploper in Europa. De gasprijs is echter zo hoog opgelopen dat bezitters van kleinschalige warmtekrachtcentrales failliet dreigen te gaan. Volgens belangenvereniging Cogen moet EZ de komende jaren minstens 880 miljoen gulden in deze sector steken om faillissementen te voorkomen. Cogen-directeur Gert-Jan Bakker wijt de problemen aan de verdubbelde gasprijs. Door de liberalisering van de elektriciteitsmarkt zijn de producenten niet in staat de stroomprijs net zo hard mee te laten stijgen.

Bronnen: Energie Nederland (31-10-2000), Het Financieel Dagblad (2-11-2000).

2 BESCHRIJVING VAN HET MODEL

Ook al is de Nederlandse elektriciteitsvoorziening zeer betrouwbaar, toch was er behoefte aan een computerprogramma om de betrouwbaarheid op eenvoudige wijze uit te rekenen. Door besparingen gedreven worden de marges in de netten steeds kleiner. Bovendien nemen de klanten de eventuele storingen niet meer zomaar voor lief. Met de gerealiseerde betrouwbaarheidsmodule van Vision kunnen nu de gevolgen van de investeringen in het net op de betrouwbaarheid worden geëvalueerd.

Kort samengevat zijn bij het maken van het programma de volgende uitgangspunten gedefinieerd:

- Het programma voert geen kortsluitberekeningen uit. Iedere fout leidt tot afschakeling van het betreffende netdeel. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen éénfase- en driefase fouten.
- Het falen van beveiligingen en vermogenschakelaars wordt op eenvoudige wijze meegenomen.
- De gehele modellering is toegespitst op MS-netten.
- Decentrale opwekking (DCO) in een streng valt uit als deze streng wordt afgeschakeld; de DCO wordt pas opgestart als de spanning op het netdeel weer hersteld is; de DCO is dus niet in staat tijdens storingsituaties enig netstation in de streng te voeden.
- Er wordt altijd met één storingsploeg gerekend. Het inschakelen van twee of meer storingsploegen is niet gemodelleerd.
- Het is mogelijk dubbele fouten mee te nemen. Aangenomen wordt dat de twee fouten tegelijkertijd optreden. Er wordt geen rekening gehouden met dubbele fouten tijdens onderhoud of tijdens reparatie.

De betrouwbaarheid wordt bepaald door de combinatie van twee processen: falen van een component en herstellen van de levering van het afgeschakelde deelnet. Het is dus lang niet altijd zo dat de levering pas wordt hervat nadat de gestoorde component gerepareerd is. Het falen van een component en het herstellen van de levering zijn twee afzonderlijke processen, die we in de volgende paragrafen achtereenvolgens kort zullen behandelen. Maar allereerst zullen we nog een aantal begrippen op een rijtje zetten:

Invoergegevens:

faalfrequentie (λ)	het gemiddelde aantal malen per jaar dat de component faalt
reparatieduur	de gemiddelde duur van de reparatie plus eventuele vervanging van de component als deze gefaald heeft
weigerkans	de kans dat een vermogenschakelaar of smeltpatroon weigert uit te schakelen in geval van een storing
Onderhouds-frequentie	het gemiddelde aantal malen per jaar dat de component in onderhoud is
Onderhoudsduur	de gemiddelde duur van het onderhoud
Onderhouds-afbreekduur	de gemiddelde tijdsduur dat onderhoud aan een specifieke component afgebroken kan worden in geval van een calamiteit

Resultaten:

onderbrekings-verwachting (F)	het gemiddelde aantal malen per jaar dat een component niet beschikbaar is of een afnemer niet van energie kan worden voorzien als gevolg van storingen
gemiddelde onderbrekingsduur (D)	het gemiddelde aantal minuten per storing dat een component niet beschikbaar is of de energie niet geleverd kan worden als gevolg van storingen
niet-beschikbaarheidsduur (P)	het gemiddelde aantal minuten per jaar dat een component niet beschikbaar is of energie niet geleverd kan worden als gevolg van storingen
Niet-Geleverde Energie (NGE)	gemiddelde hoeveelheid energie per jaar die als gevolg van storingen niet geleverd kan worden

Een andere term voor onderbrekingsverwachting is ook onderbrekingsfrequentie.
De niet-beschikbaarheidsduur wordt ook wel niet-beschikbaarheid genoemd.

2.1 Groepen

Voor een correcte berekening van de betrouwbaarheid hebben we in het faalmodel de groep geïntroduceerd. Een groep is een verzameling netcomponenten die beveiligd wordt door één en dezelfde set beveiligingen (vermogenschakelaar of smeltpatroon) of begrensd worden door netopeningen. Falen van één van de componenten in de groep leidt tot uitschakeling van de gehele groep, ervan uitgaande dat de beveiliging selectief werkt.

2.2 Falen

Waarom schakelt er iets af? Een component kan defect raken door interne oorzaak (veroudering, doorslag) of door een externe oorzaak (meestal graafwerkzaamheden). Het falen van een component leidt in het algemeen tot het afschakelen van de gehele groep door selectief uitschakelen van de beveiliging. We gaan er dan ook van uit dat de beveiliging altijd selectief is ingesteld.

Naast de gewone enkelvoudige fouten kennen we ook dubbele fouten. Het programma kent de mogelijkheid dat twee componenten door een gemeenschappelijke oorzaak falen. Dit is bijvoorbeeld het geval als twee kabels tegelijkertijd worden beschadigd door een graafmachine. Deze mogelijkheid moet per geval door de gebruiker bij de invoer worden aangegeven. De mogelijkheid dat twee of meer componenten onafhankelijk van elkaar falen wordt buiten beschouwing gelaten.

In een vermaasd net of bij parallelle kabels kiest de stroom, in geval van afschakeling van een component, een alternatief pad. In dat geval kan in een andere component in dat alternatieve pad een overbelasting optreden. Door zo een overbelasting kan een andere groep afgeschakeld worden. De waarde, tot welke de gebruiker een overbelasting toestaat, is een invoerparameter in de opties.

Wat doet het programma met de beveiliging? Het programma gaat ervan uit dat de beveiliging selectief is. Het is dus voor een betrouwbaarheidsberekening niet nodig de karakteristieken van de beveiligingen in te stellen. De functie van de beveiliging is een gestoorde component tijdig af te schakelen. Ook in de beveiliging kan er echter iets misgaan. Het programma houdt rekening met de mogelijkheid dat vermogenschakelaars en smeltpatronen kunnen falen. Deze componenten kunnen actief falen (kortsluiting veroorzaken) en passief falen (weigeren een fout af te schakelen). Indien een beveiliging weigert af te schakelen, wordt zijn functie overgenomen door een andere vermogenschakelaar of smeltpatroon. In dat geval wordt er niet meer selectief afgeschakeld.

Hoe gaat de berekening in zijn werk?

1. Het programma zal iedere netcomponent, die een faalfrequentie heeft, afzonderlijk laten falen.
2. Na het falen van de component zal de groep, waartoe de gefaalde component behoort, worden geïsoleerd door de betreffende schakelaars rondom deze groep te openen.
3. Door het openen van de schakelaars kunnen andere groepen eveneens niet-beschikbaar worden. Dat is bijvoorbeeld het geval als een streng/richting is opgedeeld door gestaffelde beveiligingen en een component in de eerste groep faalt. De groepen daarachter worden dan mee uitgeschakeld.
4. De faalfrequentie van de gestoorde component wordt gesommeerd bij de niet-beschikbaarheidsfrequentie van alle componenten in de geïsoleerde groepen.

Nadat alle componenten, common cause combinaties en weigerende schakelaars aan de beurt geweest zijn, is de onderbrekingsfrequentie in het net bepaald.

2.3 Herstellen

De tijdsduur dat de diverse componenten niet-beschikbaar zijn en de levering onderbroken is, wordt bepaald in de storingsafhandeling. Aangezien alleen de betrouwbaarheid van de levering van de gebruikers van belang is, is het voldoende de tijdsduur uit te rekenen voor een willekeurige nettopologie die redelijkerwijs tot herstel van de levering leidt. De herstelde netsituatie wordt niet aan de gebruiker getoond.

Globaal gezien leiden alle storingen tot een zelfde herstelproces. De uiteindelijke manier van herstellen is onder andere sterk afhankelijk van de netconfiguratie. Het herstelproces ziet er in het algemeen als volgt uit:

- A. Signaleren storing
- B. Inschakelen storingsploeg
- C. Localiseren foutplaats
- D. Isoleren foutplaats
- E. Inschakelen geopende schakelaars en omschakelen netopeningen

De tijden, die gemoeid zijn met bovenstaande stappen, worden afgeleid vanuit de instellingen bij de opties in Vision (Opties|Berekening|Betrouwbaarheid). Nadat de foutplaats is geïsoleerd, begint het herstelproces. Het programma gaat niet uit van gedeeltelijk herstel tijdens het herstelproces. Tijdens het herstellen onderscheiden we onderstaande vier fasen:

1. Sluiten van tijdens de storing geopende schakelaars.
2. Eventueel sluiten van oorspronkelijke netopeningen.
3. Noodstroomvoorziening, indien sneller dan reparatie of afbreken onderhoud.
4. Reparatie of afbreken onderhoud.

Tijdens een van bovenstaande fasen wordt de levering hersteld. In de meeste gevallen vindt herstel plaats door het sluiten van geopende schakelaars (fase 1) of door het sluiten van netopeningen (fase 2). De herstelduur wordt bepaald door de tijden op te tellen van de stappen A tot en met E. De tijd voor stap E wordt bepaald uit de tijd voor de fasen 1, 2, 3 of 4. In formulevorm:

$$T_{herstel} = T_{signaleren} + T_{storingsploeg} + T_{localiseren} + T_{isoleren} + T_E$$

Bovenstaande tijden zijn afhankelijk van de aanwezigheid van vermelding en afstandbesturing. In sommige gevallen is ook geen storingsploeg nodig, hetgeen de hersteltijd verkort. De tijd T_E is afhankelijk van de wijze van herstellen en is bepaald door de fase:

$$\text{fase 1: } T_E = T_{inschakelen}$$

$$\text{fase 2: } T_E = T_{inschakelen} + T_{omschakelen}$$

$$\text{fase 3: } T_E = T_{noodstroom}$$

$$\text{fase 4: } T_E = \text{minimum}(T_{reparatie}, T_{afbreken})$$

Hierbij is uitgegaan dat het inschakelen en omschakelen altijd korter duurt dan onderhoud afbreken, noodstroom gebruiken of reparatie. In fase 4 wordt de kleinste tijd bepaald: die van reparatie of die van afbreken onderhoud (indien aan de orde).

3 INVOERGEGEVENS

De landelijke storingsenquête is een redelijk goede bron voor betrouwbaarheidsparameters. Wel moeten we met zorg met de gerapporteerde cijfers omgaan. De rapportage is namelijk gericht op het rapporteren over de betrouwbaarheid en niet op het presenteren van invoergegevens voor een betrouwbaarheidsprogramma. De kwaliteit van de invoerparameters is het best bij een grote verzameling waarnemingen (de wet op de grote aantallen). Ook al ligt er veel kabel in Nederland en zijn er veel componenten in het net aanwezig, sommige storingen komen (gelukkig) niet zo vaak voor, zodat de parameters moeilijk vast te stellen zijn. Over reparatie wordt overigens nauwelijks gerapporteerd (over herstel wel).

3.1 MS Componenten

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de parameters van componenten in het spanningsniveau van 6 tot 12,5 kV. De waarden zijn ontleend aan de rapportage “Onvoorziene niet-beschikbaarheid in netten van 0,4 kV tot en met 150 kV in 1999” van KEMA en EnergieNed. In sommige gevallen zijn de parameters geschat. Van componenten in het 20 en 25 kV niveau is de populatie is niet groot genoeg om een betrouwbare schatting van de parameters te maken. Wij stellen daarom voor deze tabel voor alle MS-componenten te gebruiken. In onderstaande tabel zijn de faalparameters voor kabels per km en per jaar gegeven. De overige parameters zijn per stuk en per jaar.

De reparatietijden zijn niet uit de rapportage af te leiden. We volstaan hier met een schatting van 8 uren voor de meeste componenten. Met name voor de reparatietijden zullen bedrijfseigen getallen worden ingevuld. Storingen in een kabel of mof worden gerepareerd. In het geval van storingen in een component, zoals een transformator of een vermogenschakelaar, wordt vaak een reservecomponent ingezet (bij voorbeeld uitrijden of lichten van een schakelaar). De reparatieduur staat dan voor de benodigde duur voor het vervangen van de gestoorde component door een reserve exemplaar.

MS componenten	Gemiddeld (a ⁻¹)	Niet-stedelijk (a ⁻¹)	Stedelijk (a ⁻¹)	Reparatietijd (minuten)
Kabel (papier-lood)	0.011 / km	0.012 / km	0.011 / km	480
Kabel (kunststof)	0.007 / km	0.006 / km	0.036 / km	480
Kabel, gemiddeld	0.011 / km	0.011 / km	0.012 / km	480
Mof (kunststof)	0.0044	0.0037	0.0101	480
Mof (massa)	0.0015	0.0014	0.0043	480
Mof (olie)	0.0014	0.0014	0.0014	480
Mof, gemiddeld	0.0020	0.0019	0.0039	480
Rail	0.0001	0.0002	0.0001	3600
Transformator	0.0007	0.0008	0.0002	1800
Vermogenschakelaar	0.0012	0.0013	0.0010	480
Lastscheider	0.0001	0.0002	0.0001	480
Scheider	0.0002	0.0002	0.0002	480
Smoorspoel	0.0010	0.0010	0.0010	480
Smeltveiligheid	0.0002	0.0003	0.0001	120

In bovenstaande tabel zijn kabel en moffen separaat genomen. Ook is het mogelijk deze samen te nemen. Opgave van de gegevens voor de moffen kunnen dan achterwege blijven. Als we uitgaan van een gemiddeld aantal moffen in niet-stedelijk gebied van 4 per km, dan is de faalfrequentie 0.019 / km per jaar en voor een gemiddeld aantal moffen in stedelijk gebied van 5 per km 0.028 / km per jaar.

3-2 HS Componenten

Voor HS componenten is het wat moeilijker om bruikbare parameters uit de storingsstatistiek te halen. Omdat de populatie eigenlijk niet groot genoeg is, zijn de spanningsniveaus van 50 kV tot en met 150 kV samengenomen. In onderstaande tabel zijn de faalparameters voor kabels per km en per jaar gegeven. De overige parameters zijn per stuk en per jaar. De reparatietijd van een rail was niet uit de rapportage af te leiden; voor de rail volstaan we met een schatting.

HS componenten	Faalfrequentie (a ⁻¹)	Reparatietijd (minuten)
Kabel	0.011 / km	15000
Lijn	0.012 / km	300
Mof	0.001	12000
Rail	0.002	6000
Transformator	0.043	3600
Vermogensschakelaar	0.007	3600
Scheider	0.0003	1200

De storingsstatistiek doet geen uitspraak over de weigerkans van een beveiliging (inclusief schakelaar). Blijkbaar doet zich dit in de praktijk zeer weinig voor. In de invoer wordt deze parameter dan ook gelijk aan nul gemaakt.

3-3 Storingsstatistiek en Netvoeding

Uit de storingsstatistiek zijn de landelijke gemiddelden voor de onderbrekingsverwachting en de onderbrekingsduur gerapporteerd. De resultaten van een uitgevoerde betrouwbaarheidsberekening kunnen hiermee worden vergeleken. Indirect kunnen zo de ingevoerde gegevens op juistheid worden gecontroleerd. Onderstaande tabel geeft de gemiddelden over de jaren 1995 tot en met 1999 uit de storingsstatistiek. De cijfers geven de betrouwbaarheid als gevolg van storingen in het LS-, MS- en HS-net.

	LS-net	MS-net	HS-net
Onderbrekingsverwachting (a ⁻¹)	0.01	0.22	0.13
Gemiddelde onderbrekingsduur (min)	185	78	48
Niet-beschikbaarheidsduur (min/a)	3	17	6

Ook aan de netvoeding kunnen we een betrouwbaarheidscijfer toekennen. Indien de betrouwbaarheid van het inkoop punt niet bekend is, nemen we uit bovenstaande tabel de onderbrekingsverwachting en de gemiddelde onderbrekingsduur over voor respectievelijk de "faalfrequentie" en de "reparatieduur" van de netvoeding.

Er is altijd één netvoeding aanwezig. Indien het te bestuderen net vanuit twee inkoop punten wordt gevoed, moeten we ook een gedeelte van het voedende net modelleren tot aan het gemeenschappelijke voedende punt. Dat is belangrijk, omdat we anders de invloed van de betrouwbaarheid van de voeding niet goed modelleren. Bij modellering met twee netvoedingen zou het complete voedende net immers pas falen als in ons model de twee netvoedingen onafhankelijk van elkaar tegelijkertijd zouden falen, en dat geeft altijd verkeerde resultaten.

3-4 Herstel van de levering

Alvorens met de reparatie van de componenten te beginnen, probeert het elektriciteitsbedrijf zo snel mogelijk de elektriciteitsvoorziening te herstellen, eventueel via alternatieve routes voor de stroom. Het model van het herstelproces hebben we in paragraaf 2.3 beschreven. De parameters kunnen we invullen bij **Extra | Opties | Berekening | Betrouwbaarheid**. De waarden van de parameters zullen in veel gevallen van bedrijf tot bedrijf sterk verschillen. Ook de bereikbaarheid van de stations in de specifieke gebieden is een gegronde reden om binnen hetzelfde bedrijf verschillende parameters te hanteren. Een voor de hand liggende keuze is onderscheid te maken tussen gemakkelijk en moeilijk toegankelijke netstations en onderscheid tussen landelijke en stedelijke netten. Eigen ervaring zal leiden tot specifieke instellingen. Een voorbeeld staat hieronder.

	Tijd (kort)	Tijd (lang)	
Signaleren fout	1	5	minuten
Inschakelen storingsploeg		30	minuten
Lokaliseren fout	5	<input checked="" type="radio"/> 30	minuten
Sequentieel zoeken		<input type="radio"/> 30	minuten voor 10 stations
Binair zoeken		<input type="radio"/> 15	minuten voor 10 stations
Isoleren fout	1	15	minuten
Inschakelen/omschakelen	1	30	minuten <input type="checkbox"/> Snel
Noodstroomvoorzien		120	minuten met maximaal 250 kVA
Maximaal toegestane belasting	Kabel: 120 %	Transformator: 100 %	Generator: 100 %

Een voorbeeld van het invulformulier voor de parameters van het herstelproces.

In veel gevallen is geen automatische detectie en wordt het energiebedrijf op een storing geattendeerd doordat klanten gaan bellen. In bovenstaand voorbeeld duurt het daarom gemiddeld 5 minuten voordat de fout is gesignaleerd. Als er een vermelding is, is die tijdsduur maar 1 minuut.

Vervolgens duurt het gemiddeld 30 minuten voordat de storingsploeg ingeschakeld is en ter plekke is. Als alle schakelaars op afstand bedienbaar zijn, kan een storingsploeg achterwege blijven.

Het zoeken van de fout begint dan en duurt in het voorbeeld gemiddeld 30 minuten, onafhankelijk van de omvang van het getroffen net. In plaats van deze gemiddelde duur voor foutlocalisatie kunnen de strategieën “sequentieel zoeken” en “binair zoeken” worden aangevinkt. In beide gevallen is de duur voor het zoeken naar de fout wel afhankelijk van het aantal getroffen stations, die maximaal onderzocht moeten worden. Indien overal in de groep vermelding aanwezig is, geldt de korte tijd.

Nadat de fout is gevonden, moet worden geïsoleerd en kan weer worden ingeschakeld. In bovenstaand voorbeeld is de tijdsduur voor het isoleren van de fout op 15 minuten gesteld en de tijdsduur voor het inschakelen van de

afgeschakelde schakelaars en voor het omschakelen (netopeningen) voor een eventuele alternatieve route op 30 minuten. Ook hier kan bij op afstand bedienbare schakelaars een korte tijd van toepassing zijn. Hiermee komt het herstellen door schakelhandelingen in bovenstaand voorbeeld in de meeste gevallen neer op gemiddeld 110 minuten.

In het geval dat een noodstroomaggregaat wordt gebruikt (mits het vermogen toereikend is), wordt in bovenstaand voorbeeld rekening gehouden met 2 uren vanaf het isoleren van de foutplaats. In andere gevallen gaat het model van het herstelproces uit van reparatie of eventueel onderbreken van onderhoud, afhankelijk van de kortst mogelijke hersteltijd.

4 MODELLERING VAN EEN NET

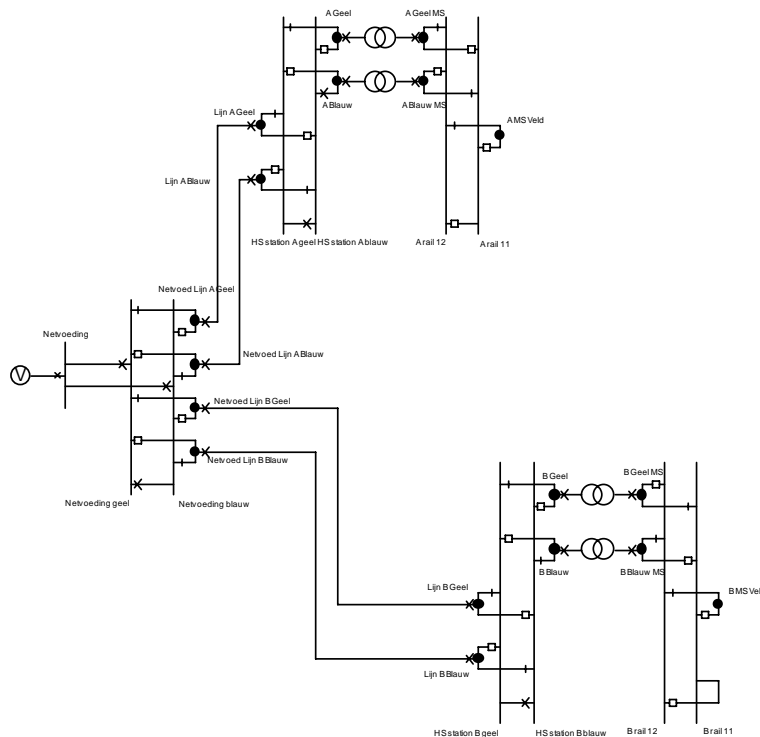
Hoe ver moet ik gaan met de modellering? Als we geïnteresseerd zijn in de betrouwbaarheid van een MS-net, moeten we dan ook het HS-net modelleren of kunnen we dan volstaan met een netvoeding, aangesloten op het inkoop punt? In de meeste gevallen kunnen we volstaan met een HS netvoeding, die aangesloten is op een HS knooppunt, waarop de voedingstransformatoren zijn aangesloten. In sommige gevallen is het echter mogelijk de voeding voor een voorzieningsgebied van twee verschillende HS stations te betrekken. Er is dan een omschakelmogelijkheid aanwezig. In dit geval moet ook het stuk HS-net gemodelleerd worden, dat de twee HS inkoop punten met elkaar verbindt. In ieder geval mag er maar één netvoeding aanwezig zijn. Het is weliswaar verleidelijk twee netvoedingen te modelleren, maar dat is principieel onjuist. Als namelijk in werkelijkheid *de* netvoeding door een storing niet beschikbaar is, kan dat in het model dan alleen gemodelleerd worden door uitval van twee gemodelleerde netvoedingen *tegelijktijd*. De kans daarop is uiterst gering.

In dit hoofdstuk gaan we in op het modelleren van een MS-net en het eventueel daarvoor benodigde HS-net. In werkelijkheid komt het veelvuldig voor dat een MS-net op twee manieren gevoed kan worden. Het betrouwbaarheidsprogramma houdt rekening met de mogelijkheid de voorziening te herstellen door een netopening te sluiten. In het geval de netvoeding zou falen en er twee netvoedingen gemodelleerd zijn, kan het programma, door sluiten van de netopening, de voorziening herstellen. In werkelijkheid echter is in zo een geval een toevoerleiding niet beschikbaar. De kans daarop verschilt wezenlijk van het falen van een netvoeding. Het is dus noodzakelijk een stuk van het gemeenschappelijke voedende net te modelleren. Dat kan ófwel gedetailleerd met modellering van het complete faalproces, ófwel vereenvoudigd, zonder modellering van het faalproces (dat wordt verdisconteerd in de betrouwbaarheid van de netvoeding). Er is geen tussenvorm.

4.1 Uitgebreide modellering van een HS-net

Helaas is gedetailleerd modelleren, door de veelvuldig toegepaste beveiliging en door de redundantie, vaak een lastige klus. In het diagram is een voorbeeld afgebeeld van twee hoofdverdeelstations (“HS station A” en “HS station B”), die via respectievelijk de velden “A MS Veld” en “B MS Veld” de twee MS-netten voeden. Zelf worden de twee hoofdverdeelstations gevoed door twee dubbelcircuitverbindingen en een gezamenlijk voedend station (“Netvoeding”). In het HS gedeelte is rekening gehouden met redundantie, beveiliging en afstandbediening. Op de knooppunten “A MS Veld” en “B MS Veld” kunnen middenspanningsnetten worden aangesloten.

In het model zijn alle knooppunten gemodelleerd met kortsluitverklapper en verremelding. Alle schakelaars zijn gemodelleerd als “Vermogenschakelaar met verremelding en afstandbediening”. De met ronde stip afgebeelde knooppunten zijn dummy knooppunten, die niet kunnen falen (door de faalparameters nul te houden). De overige parameters zijn afgeleid uit de tabellen uit hoofdstuk 4. Als invoerparameters voor de netvoeding kunnen we onderbrekingsverwachting en de gemiddelde onderbrekingsduur uit de tabel in paragraaf 3.3 gebruiken als invoer voor de faalfrequentie en de reparatieduur van de netvoeding. Op deze manier modelleren we een stuk hoogspanningsnet, met beveiliging en afstandsbediening.



Modellering van een HS-net ten behoeve van de voeding voor twee MS-netten

De betrouwbaarheid van het net komt redelijk overeen met de landelijke gegevens. De storingsfrequentie op het knooppunt "A MS Veld" is met 0.2 per jaar aan de hoge kant. De gemiddelde niet-beschikbaarheidsduur is 51 minuten. Onderstaande tabel geeft de bijdrage van falende componenten aan de niet-beschikbaarheid voor de aansluiting voor een MS-net op "A MS Veld".

Bijdrage van falende objecten aan de niet-beschikbaarheid van knooppunt: A MS Veld

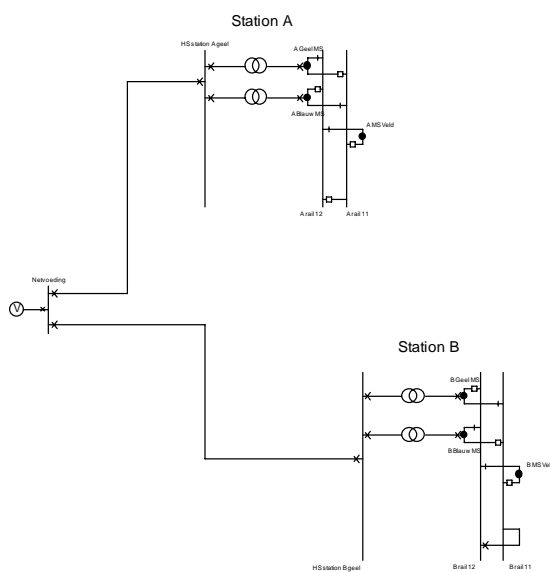
Falend	F /jaar	D min	P m/j	P %	Fase
Netvoeding	0.1300	48	6:14	0.0012	4 (reparatie)
Transformator A T-111	0.0430	38	1:38	0.0003	1 (inschakelen)
S1 in Kabel A geel	0.0070	52	0:22	0.0001	1 (inschakelen)
S1 in Transformator A T-111	0.0070	52	0:22	0.0001	1 (inschakelen)
S1 in Verbinding railkoppeling	0.0070	171	1:12	0.0002	3 (noodstroom)
Knooppunt HS station A geel	0.0020	52	0:06	0.0000	1 (inschakelen)
S2 in Transformator A T-111	0.0012	81	0:06	0.0000	1 (inschakelen)
Knooppunt A rail 12	0.0001	52	0:00	0.0000	1 (inschakelen)
Totaal	0.1973		10:00	0.0019	

De grootste bijdrage in de niet-beschikbaarheid van de voeding in het veld "A MS Veld" komt van de netvoeding. Het valt op dat de netvoeding alleen hersteld kan worden door reparatie. "Reparatie" vindt plaats doordat buiten het eigen verzorgingsgebied aan de voedende kant hersteld wordt. Volgens de storingsstatistiek duurt de niet-beschikbaarheid ten gevolge van een storing in het HS-net gemiddeld 48 minuten. Bovendien valt het op dat

herstel door het falen van schakelaar S2 in het transformatorveld langer duurt dan schakelaar S1. Dat komt omdat door het falen van S2 de rail, waarop het MS-net wordt aangesloten, niet beschikbaar is. Herstel kan pas plaatsvinden nadat in het station het MS-veld op de andere rail is omgeschakeld.

4.2 Vereenvoudigde modellering van een HS-net

Het is vrij bewerkelijk een HS-net uitgebreid te modelleren. Het is ook mogelijk het HS-net sterk vereenvoudigd te modelleren. Alle componenten krijgen dan geen faalparameters mee, omdat dat in een vereenvoudigd net een verkeerd beeld zou opleveren. De invloed van het falen van de niet gemodelleerde componenten in het HS-net moet dan verdisconteerd worden in bijvoorbeeld de netvoeding.



Vereenvoudigde modellering van een HS-net ten behoeve van de voeding voor twee MS-netten

In bovenstaand model zijn de faalparameters van de netvoeding gelijk gehouden aan die van de uitgebreide modellering in de vorige paragraaf. De knooppunten "Netvoeding", "HS Station A geel" en "HS Station B geel" en de HS verbindingen en de vermogensschakelaars aan de primaire zijde van de transformatoren kunnen niet falen: de faalparameters zijn nul. Vergeleken met het uitgebreide model moet het vereenvoudigde model dus wel betrouwbaarder zijn. Er kunnen nu immers geen HS componenten meer falen. Alle storingen in het HS-net kunnen nu verdisconteerd worden in de netvoeding. Dat betekent dat in een uitgebreid gemodelleerd HS-net de netvoeding "betrouwbaarder" gemaakt kan worden, teneinde op de MS knooppunten dezelfde betrouwbaarheid te verkrijgen.

De storingsfrequentie op het knooppunt "A MS Veld" is in dit voorbeeld 0.17 per jaar en de gemiddelde niet-beschikbaarheidsduur is 46 minuten. Ten behoeve van de vergelijking met het uitgebreide net geeft onderstaande tabel de bijdrage van falende componenten aan de niet-beschikbaarheid voor de aansluiting voor een MS-net op "A MS Veld".

Bijdrage van falende objecten aan de niet-beschikbaarheid van knooppunt: A MS Veld

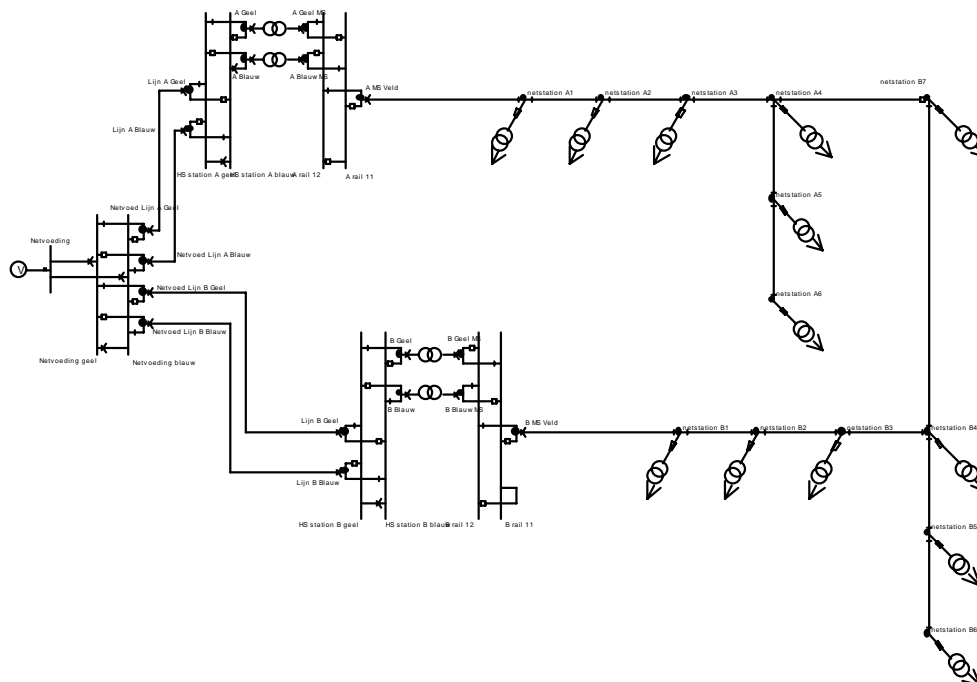
Falend	F /jaar	D min	P m/j	P %	Fase
Netvoeding	0.1300	48	6:14	0.0012	4 (reparatie)
Transformator A T-111	0.0430	38	1:38	0.0003	1 (inschakelen)
S2 in Transformator A T-111	0.0012	81	0:06	0.0000	1 (inschakelen)
Knooppunt A rail 12	0.0001	52	0:00	0.0000	1 (inschakelen)
Totaal	0.1743		7:59	0.0015	

Duidelijk zichtbaar is dat de invloed van het falen van de schakelaars en de knooppunten in het HS-net nu achterwege blijft. De HS-verbinding had al geen invloed, omdat het net daarvoor redundant was aangelegd. Als in het vereenvoudigde model een HS-verbinding echter toch, ten onrechte, faalparameters mee zou krijgen, dan zou die verbinding in de vereenvoudigde modellering daadwerkelijk falen en is dan als gevolg een eventuele redundantie in het HS-net niet juist gemodelleerd.

Samenvattend is het geoorloofd een HS-net sterk vereenvoudigd te modelleren, mits de overblijvende HS-componenten niet falen en de betrouwbaarheid in een enkele netvoeding wordt geconcentreerd.

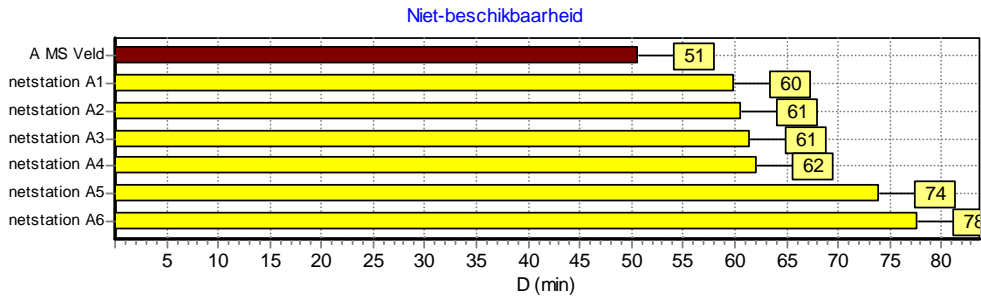
4.3 Modellering van een MS-net

Het MS-net bestaat uit twee identieke richtingen, met elk een splitsing op het vierde knooppunt. Beide netten raken elkaar bij een netopening. Alle kabelstukken zijn 500 m lang en alle belastingen zijn 150 kVA. De betrouwbaarheidscijfers komen uit paragraaf 3.1. Alle knooppunten zijn gemodelleerd met kortsluitverklippers zonder verremmelding.



Modellering van twee MS-netten met een netopening

Van het MS-net is hieronder de niet-beschikbaarheidsduur afgebeeld. Opvallend is dat de duur, zoals verwacht, naar het uiteinde van de richting toeneemt. Met name in een uitloper neemt de duur fors toe, vanwege de onmogelijkheid om ter plekke van de netopening om te schakelen.

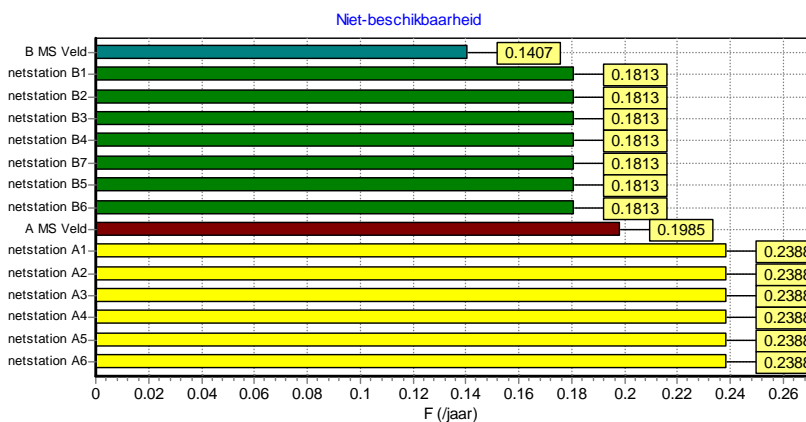


Niet beschikbaarheid van een gedeelte van het afgebeelde MS-net

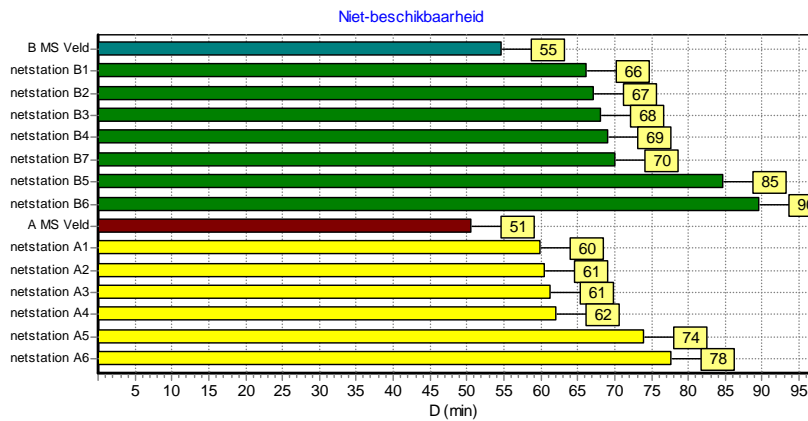
De niet beschikbaarheid wordt enerzijds veroorzaakt door storingen in het HS-net (met een relatief grote frequentie, maar kleine onderbrekingsduur) en door storingen in het MS-net zelf (met relatief kleine frequentie en grote onderbrekingsduur).

4.4 Gevoeligheid voor wijzigingen in schakelstanden

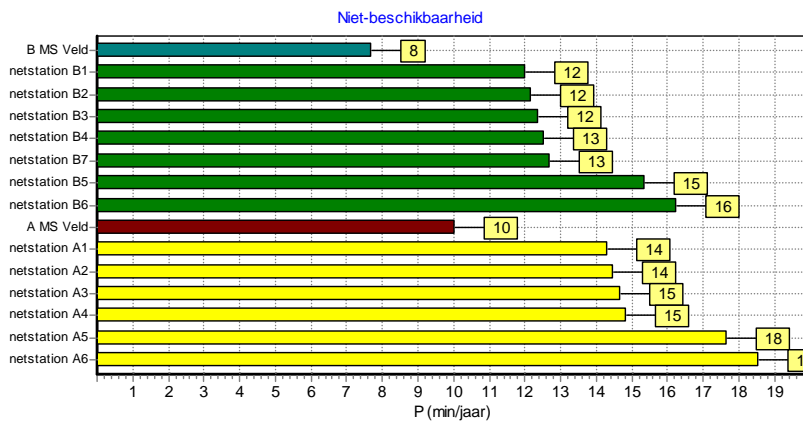
In bovenstaande MS-net is vervolgens een enkele wijziging aangebracht: de dubbelrailkoppeling in station B is gesloten. Gevolg is dat zowel de frequentie als de niet-beschikbaarheidsduur in het gedeelte van het net achter station B veranderen. Door de gewijzigde configuratie in station B is de onderbrekingsverwachting lager (uitval van de transformator heeft geen invloed meer door overname door de parallelle transformator). De gemiddelde onderbrekingsduur neemt toe omdat een eventuele storing in het koppelveld, die door een storingsploeg moet worden verholpen, nu dominant wordt in de berekening. De niet-beschikbaarheidsduur is door het sluiten van het koppelveld overigens afgenomen. Onderstaande figuren geven achtereenvolgens de onderbrekingsverwachting, de gemiddelde onderbrekingsduur en de niet-beschikbaarheidsduur weer voor richting B (donker) en richting A (licht).



Onderbrekingsverwachting voor twee MS-richtingen



Gemiddelde onderbrekingsduur voor twee MS-richtingen



Niet-beschikbaarheidsduur voor twee MS-richtingen

Uit bovenstaande figuren blijkt dat een klant, die een lage onderbrekingsverwachting wenst, zich liever in het verzorgingsgebied van station B zal vestigen. Indien de klant echter een korte gemiddelde onderbrekingsduur wenst, kan hij zich beter vestigen in het verzorgingsgebied van station A. De twee netstations A5 en A6 komen dan weer minder in aanmerking, aangezien die zich in een uitloper bevinden en daardoor minder mogelijkheden voor herstel hebben.

5 RESULTATEN

In bovenstaand hoofdstuk is al aangegeven welke invloed de stand van schakelaars kan hebben op de betrouwbaarheid. In dit hoofdstuk tonen we aan hoe een middelgroot net met de betrouwbaarheidsmodule geanalyseerd kan worden en wat de invloed van eventuele remedies is.

Iedere klant wil natuurlijk een zo betrouwbaar mogelijke elektriciteitsvoorziening. De betrouwbaarheid kan het eenvoudigst worden uitgedrukt in de te verwachten hoeveelheid niet geleverde energie (NGE). Sommige klanten echter willen zo weinig mogelijk storingen. Als er al een storing is, dan maakt de onderbrekingsduur voor hun proces niet meer zoveel uit: de schade is dan al aangericht. Voorbeelden zijn bedrijven in de procestechniek, waar chemische processen behoorlijk verstoord kunnen raken en machines schoongemaakt moeten worden. Andere klanten wensen gewoon dat de eventuele storingen van korte duur zullen zijn. Voorbeelden zijn pompgemalen, kleinverbruikers en bedrijven met koelingen.

In dit hoofdstuk geven we een voorbeeld van een MS-net van een middelgrote stad. Het net wordt gevoed door één HS station. Er zijn 17 afgaande velden, verdeeld over twee MS-rails. De netvoeding kan falen. De HS-rails, de voedingstransformatoren en de vermogensschakelaars in het HS-station kunnen niet falen. Dan is de modellering van het HS-station vrij eenvoudig en kunnen we ons concentreren op het MS-net. We onderzoeken de onderbrekingsverwachting en de gemiddelde onderbrekingsduur voor de knooppunten in het net.

In het experiment blijkt een richting aanwezig te zijn, waarvan zowel de onderbrekingsfrequentie als de gemiddelde onderbrekingsduur tegenvalt. We zullen aantonen dat de onderbrekingsfrequentie gedeeltelijk verbeterd kan worden door de betreffende richting op te splitsen met behulp van een extra beveiliging en een vermogensschakelaar. Ook zullen we aantonen dat de onderbrekingsduur kan worden verbeterd door te zorgen voor voldoende omschakelmogelijkheden. In het geval van een uitloper lijkt de oplossing triviaal, maar met behulp van een berekening kunnen de kosten van een aanpassing beter tegen de winst in betrouwbaarheid worden afgewogen.

Achtereenvolgens belichten we de resultaten voor de onderbrekingsverwachting, de gemiddelde onderbrekingsduur en de niet-beschikbaarheidsduur.

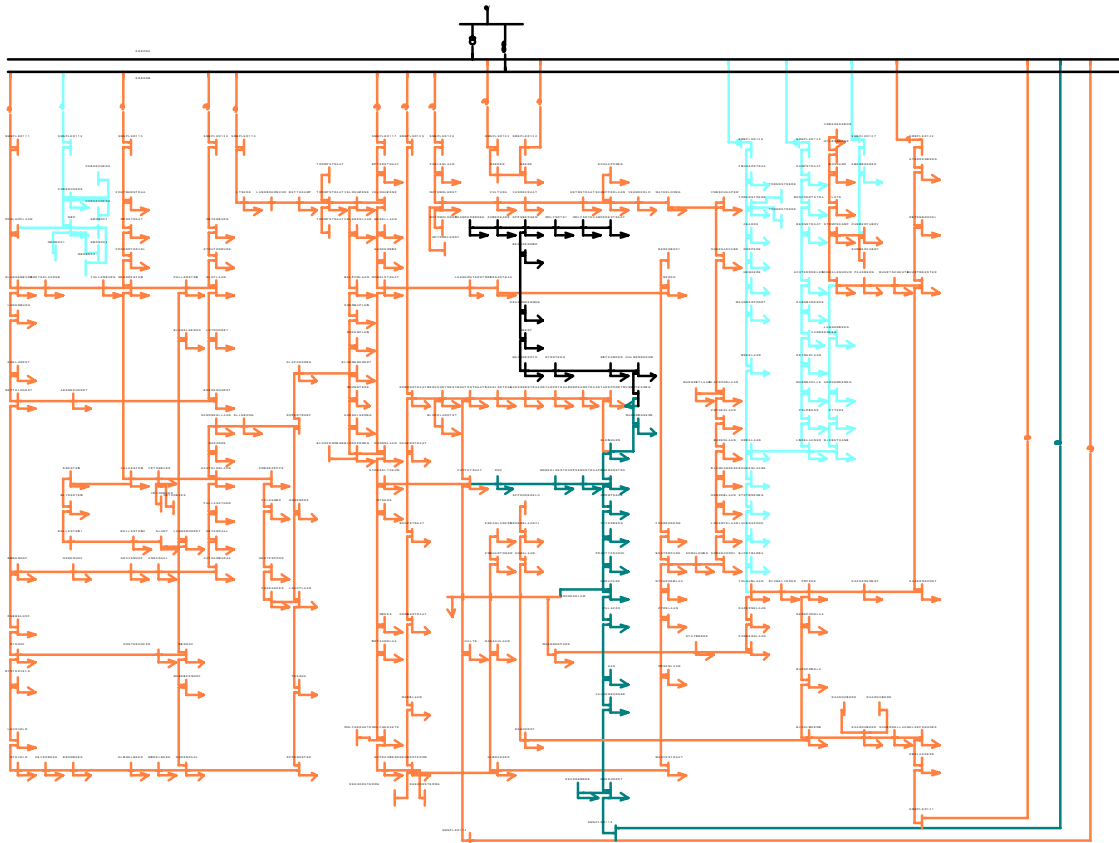
5.1 Onderbrekingsverwachting

Onderstaande figuur geeft de onderbrekingsverwachting (=onderbrekingsfrequentie) weer in gebeurtenissen per jaar. De kleuren representeren in gradiënten van licht naar donker:

- 1: 0 - 0,1 per jaar
- 2: 0,1 - 0,2 per jaar
- 3: 0,2 - 0,3 per jaar
- 4: meer dan 0,3 per jaar

De figuur illustreert dat de onderbrekingsfrequentie voor korte strengen kleiner is dan voor lange. Hoe meer componenten en kabellengtes, des te groter de kans dat door falen van een component de hele richting niet beschikbaar is.

De gemiddelde onderbrekingsverwachting voor het gehele MS-net is: 0,18 per jaar. De meeste strengen in dit net zitten beneden het landelijk gemiddelde van 0,22 per jaar (uit paragraaf 3.3).



Onderbrekingsfrequentie in een MS-net

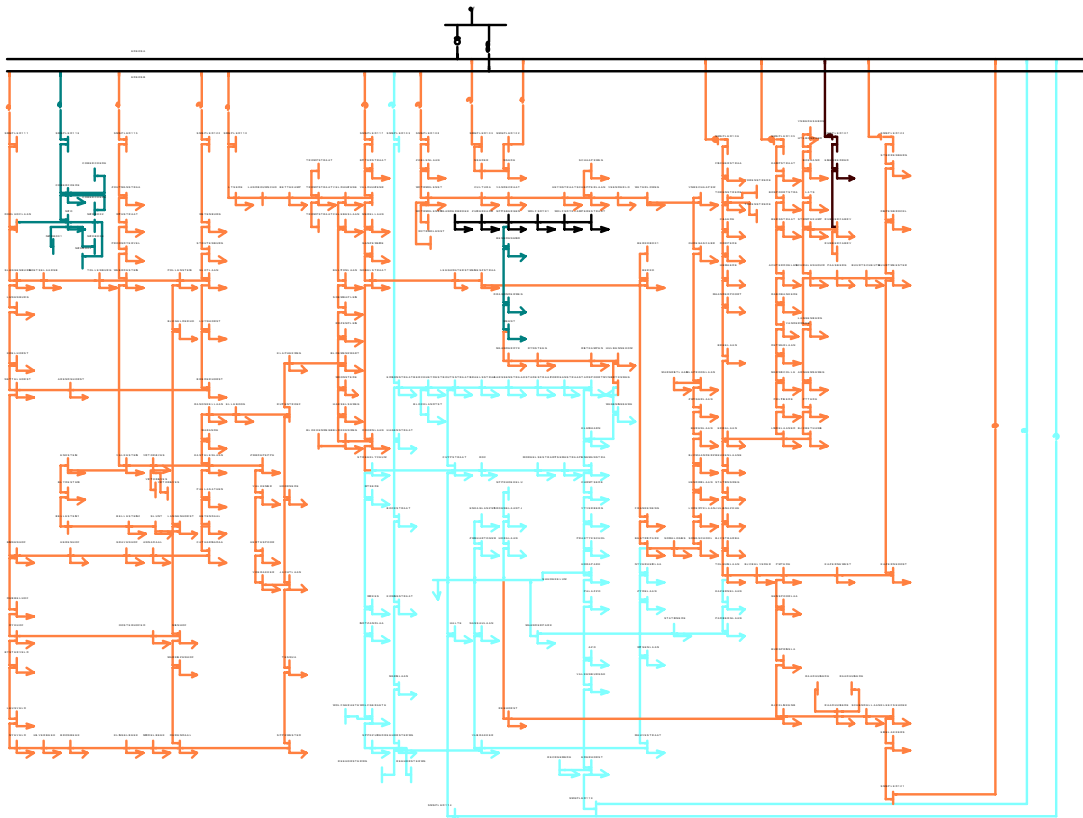
5.2 Gemiddelde onderbrekingsduur

Onderstaande figuur geeft de gemiddelde onderbrekingsduur (=gemiddelde niet-beschikbaarheidsduur) weer per storing. De kleuren representeren in gradiënten van licht naar donker:

- 1: 60 - 120 minuten
- 2: 120 - 180 minuten
- 3: 180 - 240 minuten
- 4: meer dan 240 minuten

Deze figuur illustreert twee zaken. Enerzijds is bij korte strengen de invloed van de zeer weinig voorkomende maar lang durende storingen groter op de gemiddelde storingsduur. Anderzijds is de gemiddelde storingsduur voor knooppunten op het uiteinde van een lange richting groter, omdat dan vaak niet omgeschakeld kan worden en een noodstroomvoorziening moet worden geregeld.

Het gemiddelde van de gemiddelde onderbrekingsfrequentie voor het gehele MS-net is: 150 minuten. Daarmee zitten de meeste strengen in dit net boven het landelijk gemiddelde van 78 minuten (paragraaf 3.3).



Gemiddelde niet-beschikbaarheidsduur in een MS-net

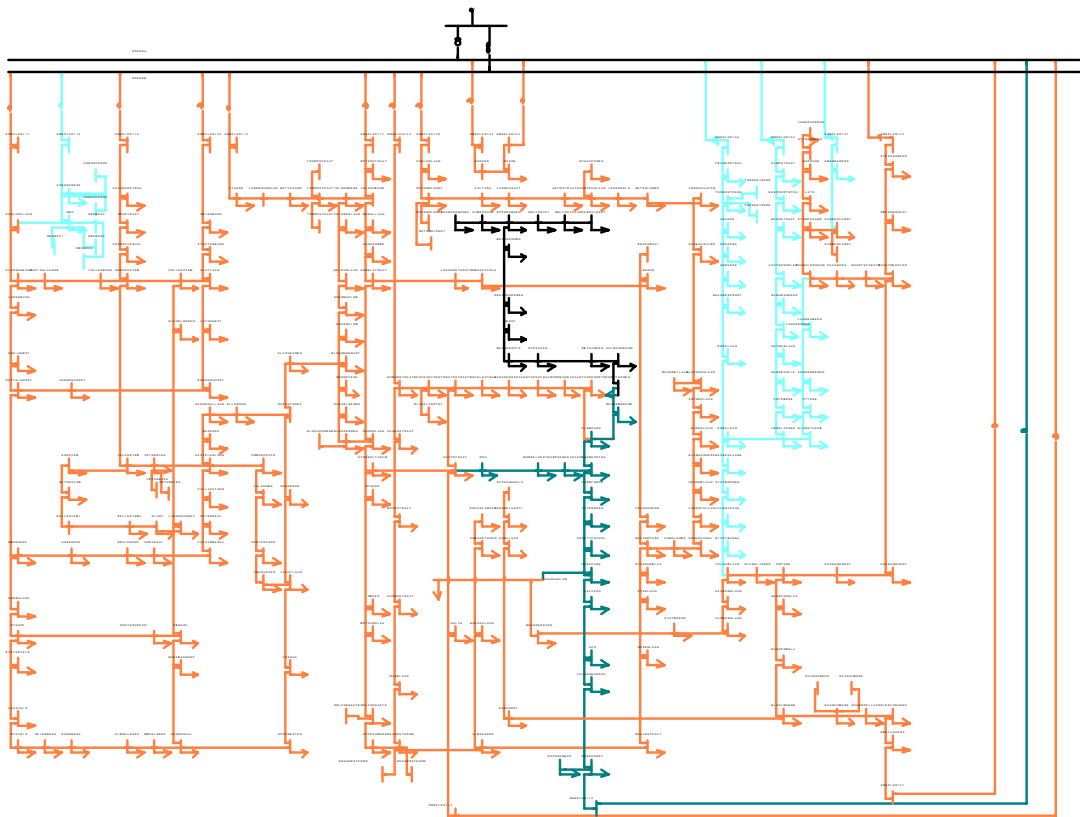
5-3 Niet-beschikbaarheidsduur

Onderstaande figuur geeft de niet-beschikbaarheidsduur (=kans op niet-beschikbaarheid) weer. De kleuren representeren in gradiënten van licht naar donker:

- 1: 0 - 15 minuten per jaar
- 2: 15 - 30 minuten per jaar
- 3: 30 - 60 minuten per jaar
- 4: meer dan 60 minuten per jaar

Deze figuur illustreert dat een lange gemiddelde onderbrekingsduur niet per sé hoeft te betekenen dat de kans op niet-beschikbaarheid hoog is. Voor het bepalen van de kans wordt de onderbrekingsduur gewogen met de onderbrekingsfrequentie. Duidelijk zichtbaar is dat voor de knooppunten aan het uiteinde van de lange richting (in het midden van het schema) door de combinatie van de hoge frequentie en lange onderbrekingsduur de niet-beschikbaarheidsduur relatief hoog is.

Het gemiddelde van de niet-beschikbaarheidsduur voor het gehele MS-net is: 27 minuten per jaar. Daarmee zitten de meeste strengen in dit net boven het landelijk gemiddelde van 17 minuten per jaar (paragraaf 3.3).

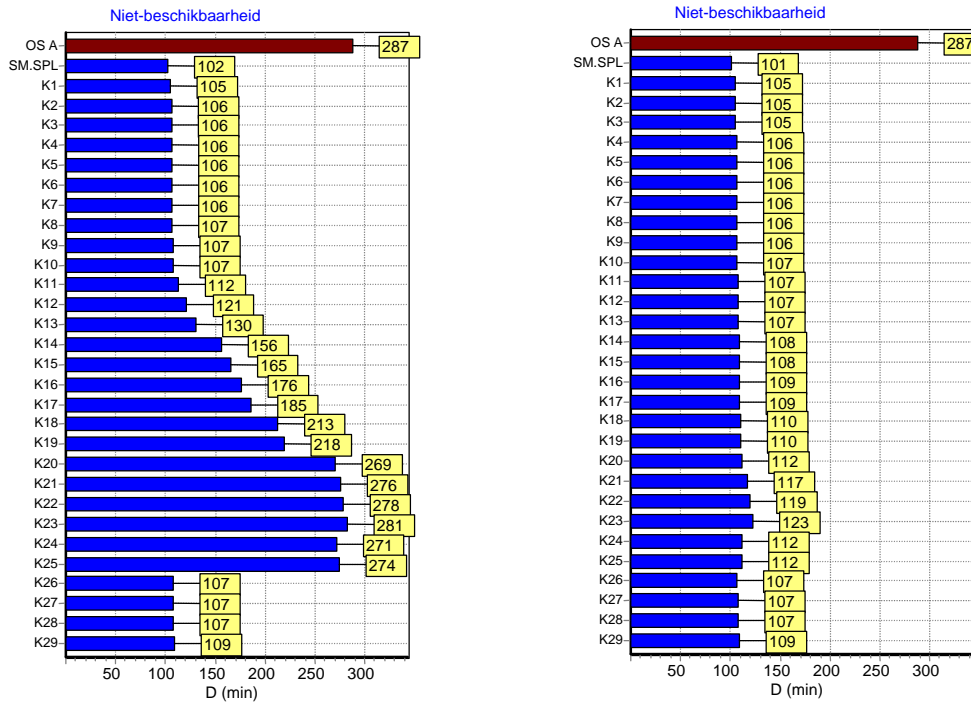


Kans op niet-beschikbaarheid in een MS-net

5-4 Verbetering betrouwbaarheid

Voor verbetering van de slechte betrouwbaarheid van een lange richting zijn twee remedies:

1. Een extra beveiliging in het midden van de lange richting beïnvloedt de onderbrekingsfrequentie in het eerste gedeelte van de streng ten gunste (kan hierdoor gehalveerd worden), maar heeft nauwelijks invloed op het tweede gedeelte van de streng en op de onderbrekingsduur.
2. Koppelingsmogelijkheid zoeken met een naburig knooppunt van een andere richting. Dit heeft een zeer gunstige invloed op de betrouwbaarheid (zie figuur).



Gemiddelde onderbrekingsduur in een richting: zonder (links) en met (rechts) mogelijkheid tot omschakelen

De winst van de niet geleverde energie door het aanbrengen van een extra omschakelmogelijkheid is: 516 kWh per jaar (voor de betreffende streng: 2970 kWh zonder en 2454 kWh met omschakelmogelijkheid).

6 CONCLUSIE

In Vision is een betrouwbaarheidsmodule aangebracht, waarmee investeringen in het net beoordeeld kunnen worden op hun invloed op de betrouwbaarheid. Enkele aandachtspunten zijn:

- De invoergegevens van de faalparameters kunnen uit de landelijke storingsenquête gehaald worden.
- Voor de invoergegevens van de reparatieduur en de tijden van de herstelwerkzaamheden moet uit eigen ervaring worden geput. De tijden kunnen afhangen van de bereikbaarheid van de deelnetten.
- Het is niet aanbevolen om meer dan één netvoeding te modelleren.
- Het is geoorloofd een HS-net sterk vereenvoudigd te modelleren, mits de overblijvende HS-componenten niet falen en de betrouwbaarheid in een enkele netvoeding wordt geconcentreerd.
- Bij het beoordelen van de betrouwbaarheid moeten altijd de drie resultaten gezamenlijk worden beoordeeld: Onderbrekingsverwachting, Gemiddelde onderbrekingsduur en Niet-beschikbaarheidsduur (F, D en P).
- De onderbrekingsfrequentie kan verbeterd worden door een segmentatie aan te brengen (niet te lange richtingen en niet teveel velden op een rail).
- De gemiddelde onderbrekingsduur kan verbeterd worden door voldoende omschakelmogelijkheid aan te brengen.